



Aalborg Universitet

**AALBORG UNIVERSITY**  
DENMARK

**Motorvejen Aalborg-Hirtshals : poretryksobservationer**

*datarapport 2*

Jørgensen, Mogens B.

*Publication date:*  
1999

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Jørgensen, M. B. (1999). *Motorvejen Aalborg-Hirtshals : poretryksobservationer: datarapport 2*. Geotechnical Engineering Group. AAU Geotechnical Engineering Papers : Laboratory Testing Paper Bind R9911 Nr. 31

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Motorvejen AALBORG-HIRTSHALS - Poretryksobservationer - Datarapport 2**

**M.B. Jørgensen**

**1999**

**Laboratory Testing Paper No 31**



**GEOTECHNICAL ENGINEERING GROUP  
AALBORG UNIVERSITY DENMARK**

# Aalborg Universitet

Geoteknikgruppen  
Sohngårdsholmsvej 57  
9000 Aalborg

Kontaktperson:

Lektor Mogens B. Jørgensen  
Tlf : 96 35 84 57  
e-mail: [i5mbj@civil.auc.dk](mailto:i5mbj@civil.auc.dk)

**Carl Bro as, Aalborg**

**Motorvejen AALBORG – HIRTSHALS  
Etape 96, Nørresundby – Brønderslev**

**Datarapport nr. 2 (Poretryksobservationer)**

AAU-job nr. 9702  
Dato 1999-11-19

Udarbejdet: Mogens B. Jørgensen  
Kontrol: Carsten S. Sørensen

*Mogens B. Jørgensen*  
*Carsten S. Sørensen*

**Carl Bro as, Aalborg  
Motorvejen AALBORG – HIRTSHALS  
Etape 96, Nørresundby – Brønderslev  
Datarapport nr. 2 (Poretryksobservationer)**

AAU-job nr. 9702  
Dato: 1999-11-19





## Indholdsfortegnelse

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| 1. Indledning .....                  | 1 |
| 2. Placering af piezometre .....     | 1 |
| 3. Måleresultater .....              | 3 |
| 4. Vurdering af måleresultater ..... | 4 |
| 5. Referencer .....                  | 4 |

## Bilag

|  |       |
|--|-------|
| Bilag 1: Piezometre i kote – 6.4 , aritmetrisk afbildning .....      | 1side |
| Bilag 2: Piezometre i kote – 4.4 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 3: Piezometre i kote – 2.9 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 4: Piezometre i kote – 1.4 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 5: Piezometre i kote + 0.6 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 6: Piezometre i kote – 6.4 , logaritmisk afbildning (a) .....  | 1side |
| Bilag 7: Piezometre i kote – 4.4 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 8: Piezometre i kote – 2.9 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 9: Piezometre i kote – 1.4 , ” ” .....                         | 1side |
| Bilag 10: Piezometre i kote + 0.6 , ” ” .....                        | 1side |
| Bilag 11: Piezometre i kote – 6.4 , logaritmisk afbildning (b) ..... | 1side |
| Bilag 12: Piezometre i kote – 4.4 , ” ” .....                        | 1side |
| Bilag 13: Piezometre i kote – 2.9 , ” ” .....                        | 1side |
| Bilag 14: Piezometre i kote – 1.4 , ” ” .....                        | 1side |
| Bilag 15: Piezometre i kote + 0.6 , ” ” .....                        | 1side |

## Appendix

|   |         |
|---|---------|
| Appendix A: Måling af poretryk med piezometre ..... | 4 sider |
|---|---------|



## 1. Indledning

I forbindelse med anlægget af motorvejen Aalborg – Hirtshals er der på strækningen Nørresundby – Brønderslev (etape 96) gennemført en række forbelastningsforløb, som har haft til formål at fremskynde de sætninger, der uundgåeligt ville være forbundet med at belaste forekommende sætningsgivende jordlag med den projekterede motorvejskonstruktion.

Forekomsten og omfanget af de sætningsgivende jordlag er tidligere kortlagt gennem de udførte geotekniske forundersøgelser (Carl Bro as, Aalborg). På grundlag af data herfra samt fra resultaterne af en række laboratorieforsøg med optagne intakte jordprøver (Carl Bro as samt AAU) er endvidere foretaget en estimering af de optrædende sætningers størrelse og tidsmæssige forløb.

Med baggrund heri er de enkelte forbelastningsforløb planlagt med hensyn til laststørrelse, varighed og instrumentering for kontrolobservationer. Forbelastningerne er tilvejebragt ved udlægning af dæmningsfyld (sand) med overhøjder i forhold til de projekterede vejkofter på 2 – 4 m, varierende med lokaliteten. Typisk er dæmningerne udlagt efter forudgående afrømning af ca. 0.4 m muld og genopfyldning med sandfyld, således at der var etableret kørefast bund med mulighed for indbygning af måleudstyr før udlægningen af den egentlige dæmningsfyld blev påbegyndt.

Ved på denne måde at fremtvinge et afpasset og kontrolleret sætningsforløb i en planlagt periode forud for den endelige færdiggørelse af vejen er det muligt at opnå, at restsætningerne efter vejens ibrugtagning bliver meget små. Fremgangsmåden er på den nævnte strækning anvendt som et både miljøvenligt og sandbesparende alternativ til en fuld udskiftning af de bløde lag.

Instrumentering og udførelse af kontrolobservationer er planlagt og gennemført i et samarbejde mellem ingeniørfirmaet Carl Bro as, Aalborg og Geoteknikgruppen ved Aalborg Universitet, Institutet for Vand, Jord og Miljøteknik.

Geoteknikgruppen ved AAU har som sin del gennemført en række slangemålinger i udvalgte stationer med henblik på observation af sætninger målt ved dæmningsens underside. Endvidere har Geoteknikgruppen etableret et antal traditionelle piezometre (i alt 10) og gennemført poretryksobservationer på en afgrænset forsøgsstrækning, hvor der samtidig blev afprøvet mere avancerede elektriske piezometre (Carl Bro as).

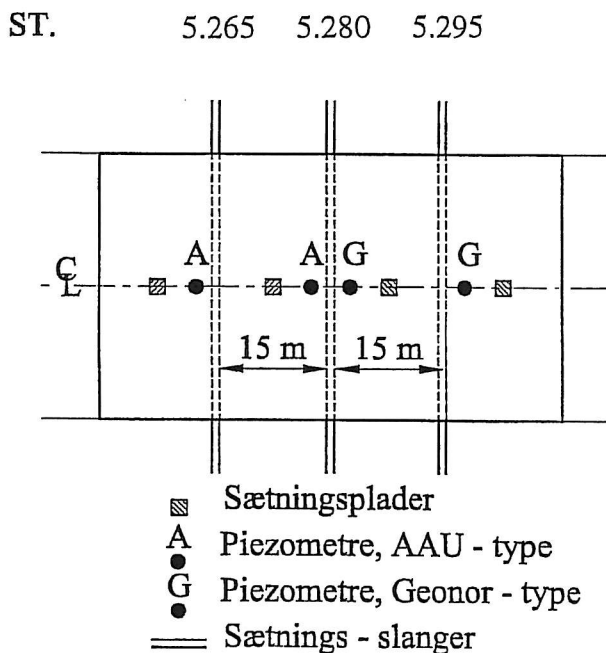
Resultaterne af de nævnte slangemålinger og sætningsobservationer er omtalt i "Datarapport nr. 1 (Slangemålinger)", (MBJ okt. 99)

Nærværende "Datarapport nr. 2 (Poretryksobservationer)" beskriver resultaterne af de udførte målinger med de installerede AAU – piezometre.

De enkelte måleresultater er løbende blevet tilsendt ingeniørfirmaet Carl Bro as, Aalborg til brug for opdatering af de anvendte beregningsmodeller.

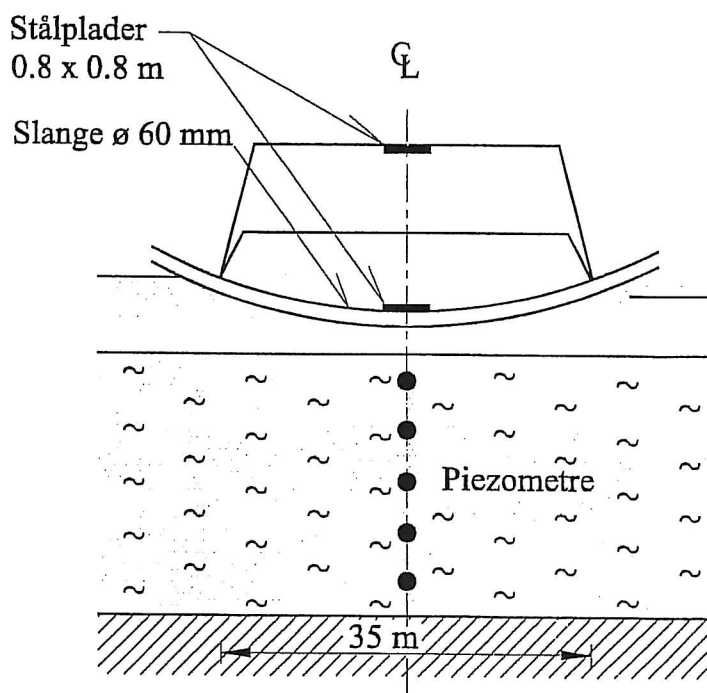
## 2. Placering af piezometre

Der er anbragt 5 AAU-piezometre næsten lodret over hinanden omkring vejlinien i ST. 5.265. Desuden 5 AAU-piezometre omkring vejlinien i ST. 5.280.

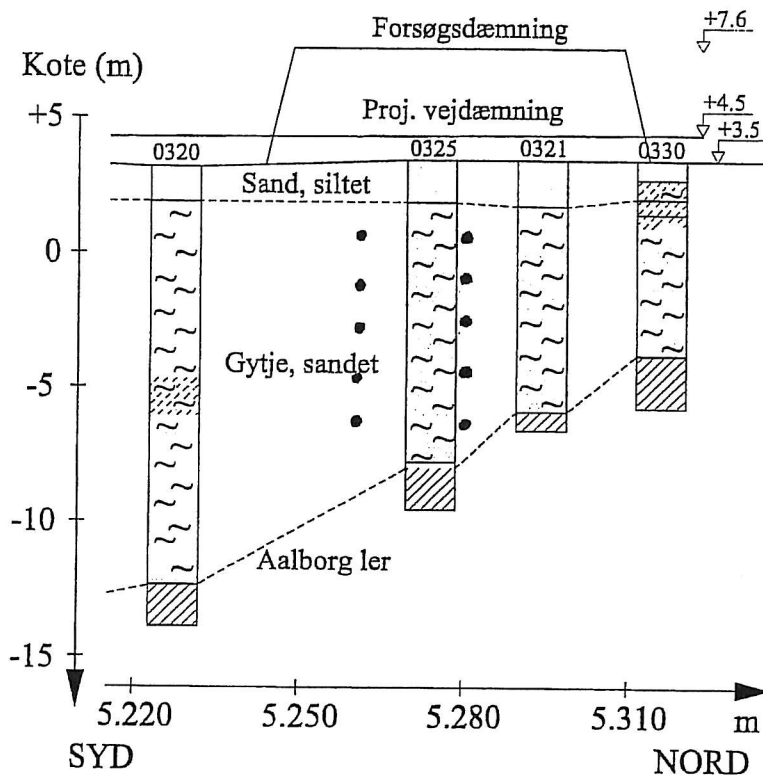


Figur 1. Instrumentering på prøvestrækningen. Placering i planen.

Piezometrene er anbragt i tilsvarende dybder i de to stationer. De to dybest placerede er anbragt i kote - 6.4 og de to øverste i kote + 0.6. Derimellem er anbragt piezometre i koterne - 1.4, - 2.9 og - 4.4. Den plane placering i det ca. 60 m lange prøvefelt fremgår af situationsplanen på figur 1 mens dybdeplaceringen fremgår af figurerne 2 og 3.



Figur 2. Tværprofil af forsøgsstrækning. Placering af piezometre.



Figur 3. Længdeprofil af forsøgsstrækning. Placering af piezometre.

Med hensyn til nærmere detaljer vedrørende piezometersystemets udformning og virkemåde samt fremgangsmåden ved etablering, nedpresning og tilslutning til manometre henvises til Appendix A. Her er ligeledes redegjort for den benyttede aflæsningsmetodik samt for det beregningsudtryk, der fører fra de aflæste størrelser til bestemmelsen af det herskende trykniveau i målepunktet (forstået som den kote, vandspejlet ville stige til, hvis der blev anbragt et stigrør i punktet).

### 3. Måleresultater

Nedpresning af piezometre, etablering af manometerskabe samt tilslutninger til disse blev udført i dagene 11 – 14.03.96. Efter gennemskylninger af samtlige piezometre blev første sæt af målinger foretaget 15.03.96 – næsten samtidig med påbegyndelsen af fyldudlægning på feltet.

Målingerne blev foretaget relativt ofte i opfyldningsfasen frem til 27.03.96 og videre i de første måneder herefter. Derefter er måleintervallerne gradvist forlænget. Sidste måling er foretaget 18.06.97, ca. 460 døgn efter 1. måling. Samtlige piezometre har tilsyneladende fungeret korrekt i denne måleperiode.

Måleresultaterne er afbildet på 3 forskellige måder.

I bilagene 1 – 5 er de målte trykniveauer afbildet som funktion af tiden (angivet som antallet af døgn efter starttidspunktet 15.03.96) i en almindelig aritmetrisk afbildning. Kurverne er anbragt parvis, således at to målepunkter i samme dybde ses på samme bilagsside. En sammenligning er hermed let at foretage.

I bilagene 6 – 10 er målingerne fra 27.03.96 og videre frem vist i en logaritmisk afbildning, der svarer til, at den samlede fyldlast regnes momentant påført den 26.03.96. Hensigten med denne afbildning er at kunne sammenligne tidsskurvernes form bedst muligt med tilsvarende velkendte tidsskurver for et enkelt lasttrin i et konsolideringsforsøg.

Endelig er i bilagene 11 – 15 samtlige måleresultater vist i en logaritmisk afbildning, der tager tidsmæssigt udgangspunkt i starttidspunktet 15.03.96. (Tidspunktet for første måling er her af praktiske grunde angivet som 0.5 døgn). Formålet med denne afbildning er at tydeliggøre poretryksvariationerne i selve lastopbygningsfasen.

#### 4. Vurdering af måleresultater

I tidsskurvedigrammerne er foruden de målte trykniveauer indtegnet variationen af det naturlige grundvandsspejl, som det er bestemt ved pejlinger i anviste nærliggende pejlerør. Differensen mellem de målte trykniveauer ( $h_t$ ) og GVS – koten ( $h_0$ ) er et mål for de poreovertryk, der er fremkaldt i målepunkterne af den påførte last ( $u - u_0 = h_t - h_0$ ).

Det ses, at belastningen fremkalder poretryksforøgelse i alle målepunkter, og at den maksimale forøgelse ved færdig opfyldning varierer mellem ca. 35 kPa og ca. 57 kPa. De største overtryk er målt i kote – 1.4 i begge stationer. Dette tyder på drænende indslag i den dybere del af de sætningsgivende gytjelag. En præcis placering af et sådant permeabelt lag er dog vanskelig at pege på, idet der kun er 5 punkter til rådighed til bestemmelse af poreovertryksfordelingen i det næsten 10 m tykke sætningsgivende gytjelag. Et sandsynligt niveau er dog omkring kote – 4.

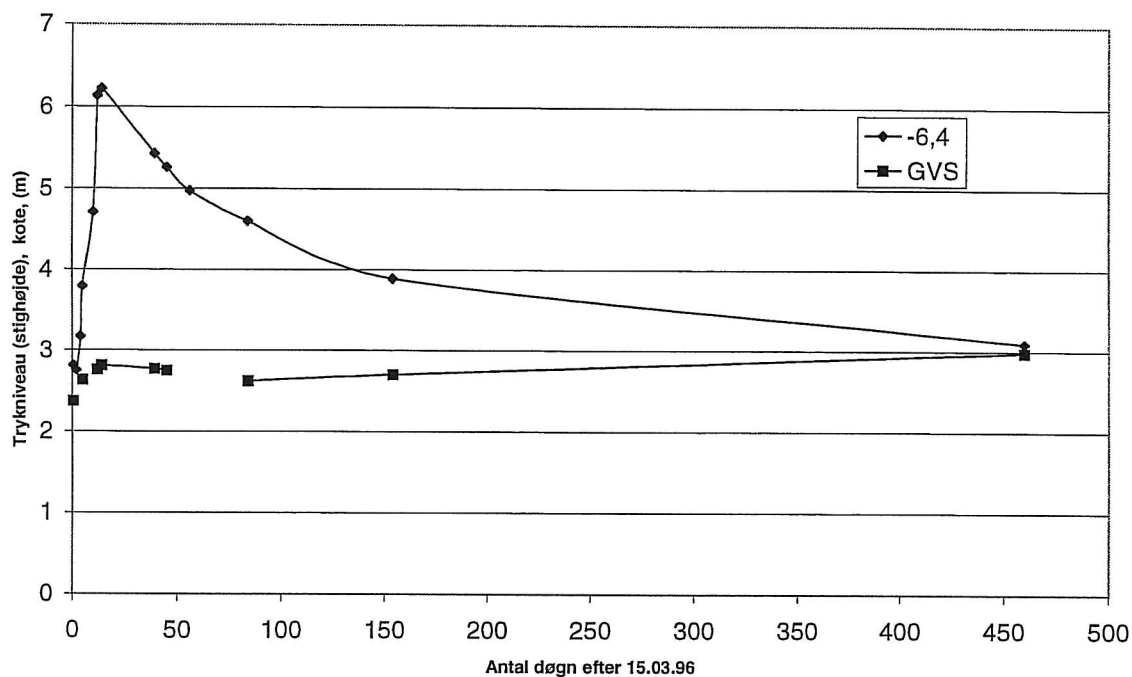
Den påførte fyldlast andrager ca. 70 kPa. De størst målte poreovertryk svarer altså til ca. 80 % heraf. Denne andel afspejler dels virkningen af trykspredning (som dog formentlig er lille) og dels det forhold, at der allerede i opbygningsfasen er sket en vis dissipation i pauserne mellem de påførte dellag. Enkelte af kurverne viser direkte dette, men med de valgte aflæsningsintervaller er det ikke fanget på alle forløb.

Den vigtigste information fra poretryksobservationerne er nok den, at konsolideringstiden (svarende til  $T = 1$  eller  $U = 0.93$ ) på trods af de bløde lags mægtighed ser ud til at være så kort som mellem 200 og 300 døgn. Det fremgår med lidt varierende tydelighed af de logaritmiske afbildninger, mest tydeligt måske i ST. 5.280, kote – 1.4 (Bilag 9), hvor det introducerede overtryk netop var størst.

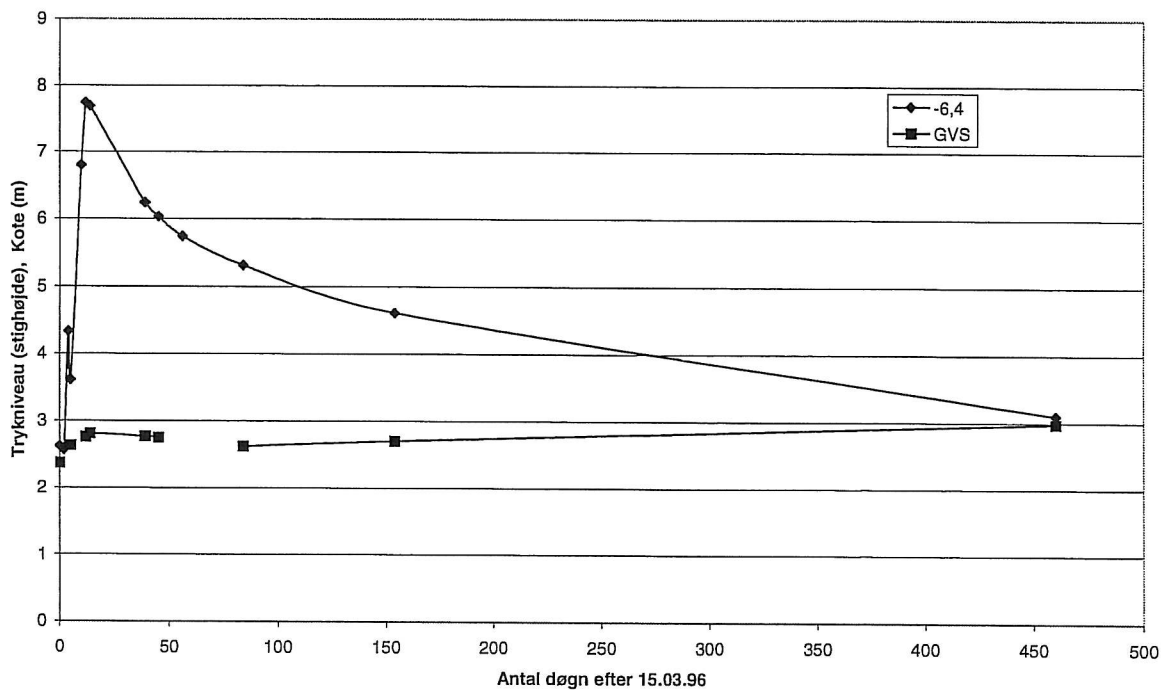
#### 5. Referencer

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| Carl Bro Anlæg as, juni 1996:    | Motorvejen Aalborg – Hirtshals<br>Etape 96, Nr. Sundby – Brønderslev<br>Geotekniske Specialrapporter 1A, 1B og 2A |
| Geoteknikgruppen, AAU, nov.1999: | Motorvejen Aalborg – Hirtshals<br>96 Nørresundby – Brønderslev<br>Datarapport nr. 1 (Slangemålinger)              |

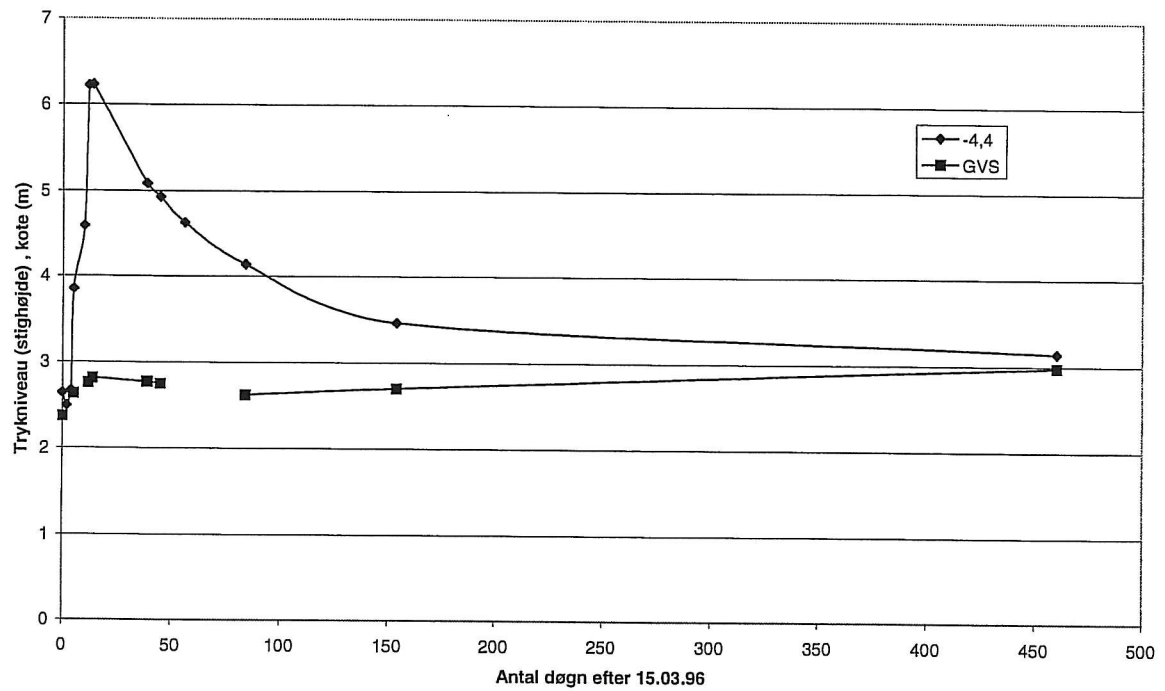
ST. 5.265, Piezometer anbragt i kote - 6.4



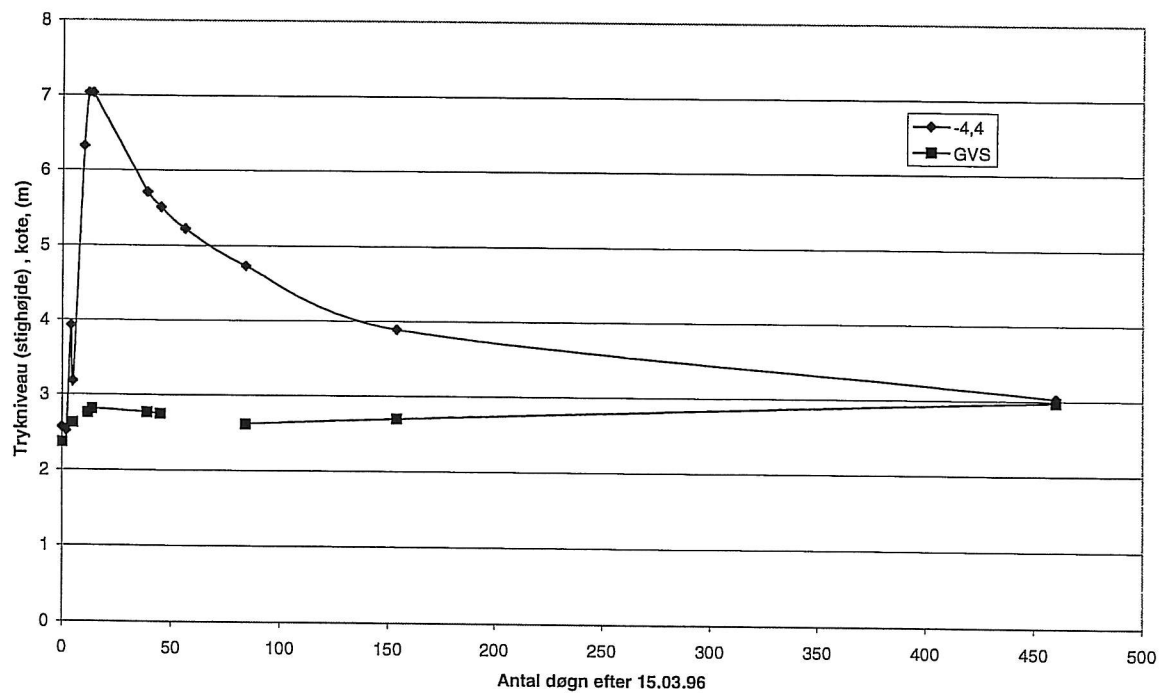
ST. 5.280, Piezometer anbragt i kote - 6.4



ST. 5.265, Piezometer anbragt i kote - 4.4

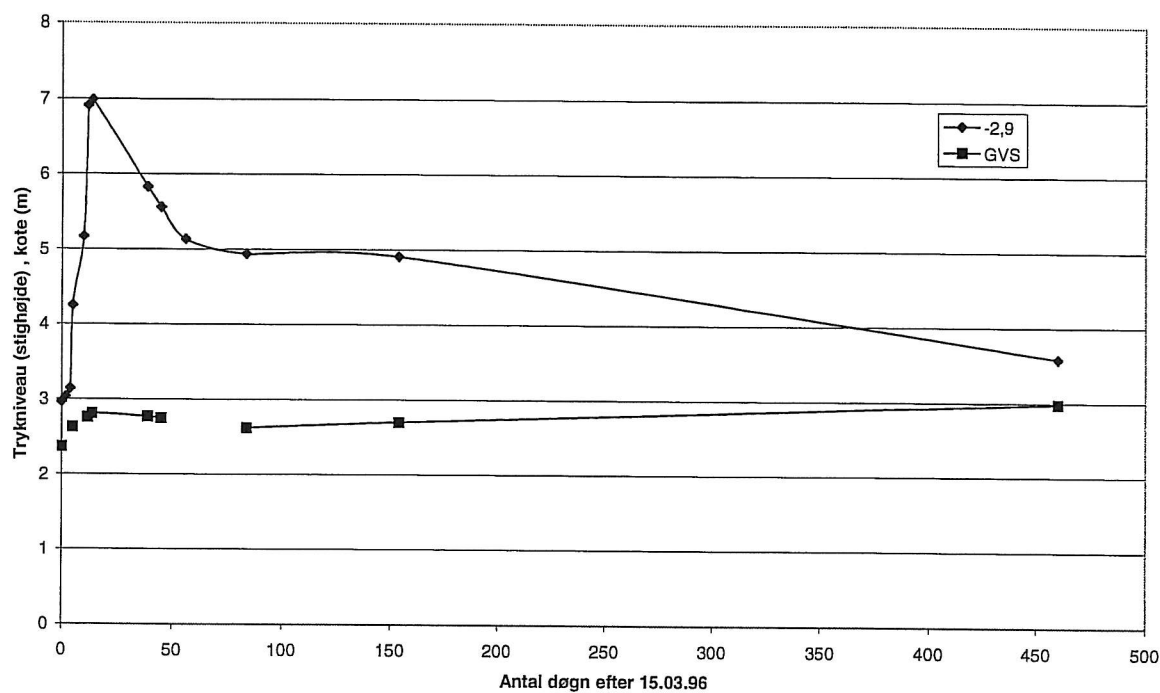


ST. 5.280, Piezometer anbragt i kote - 4.4

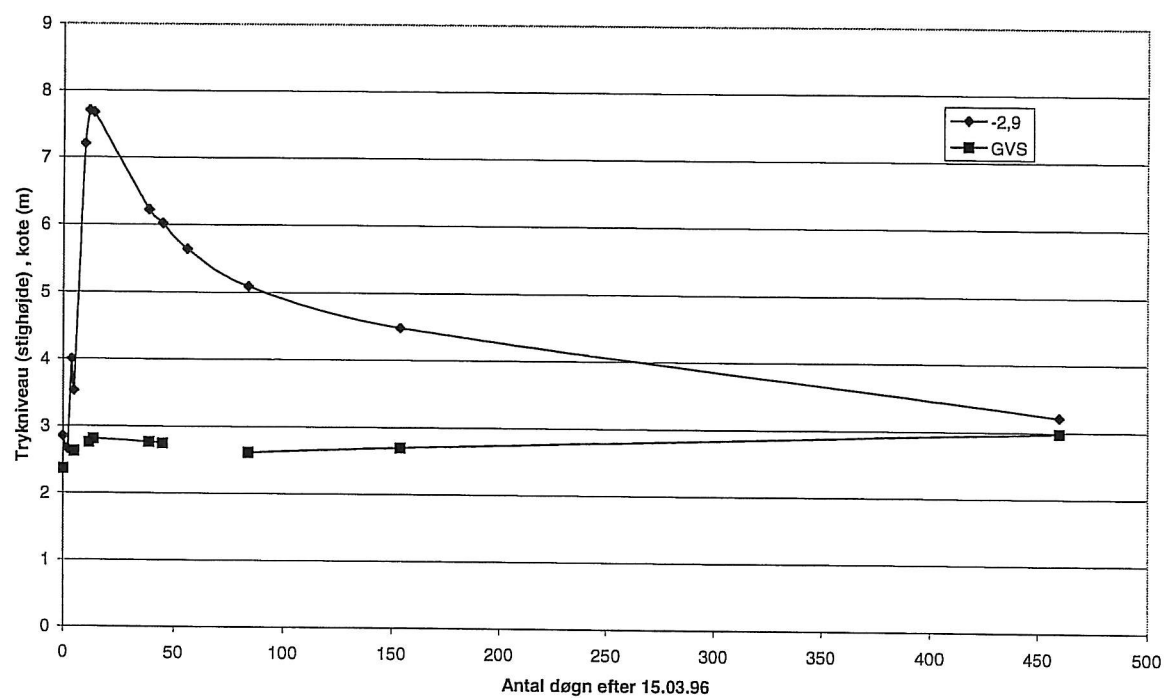




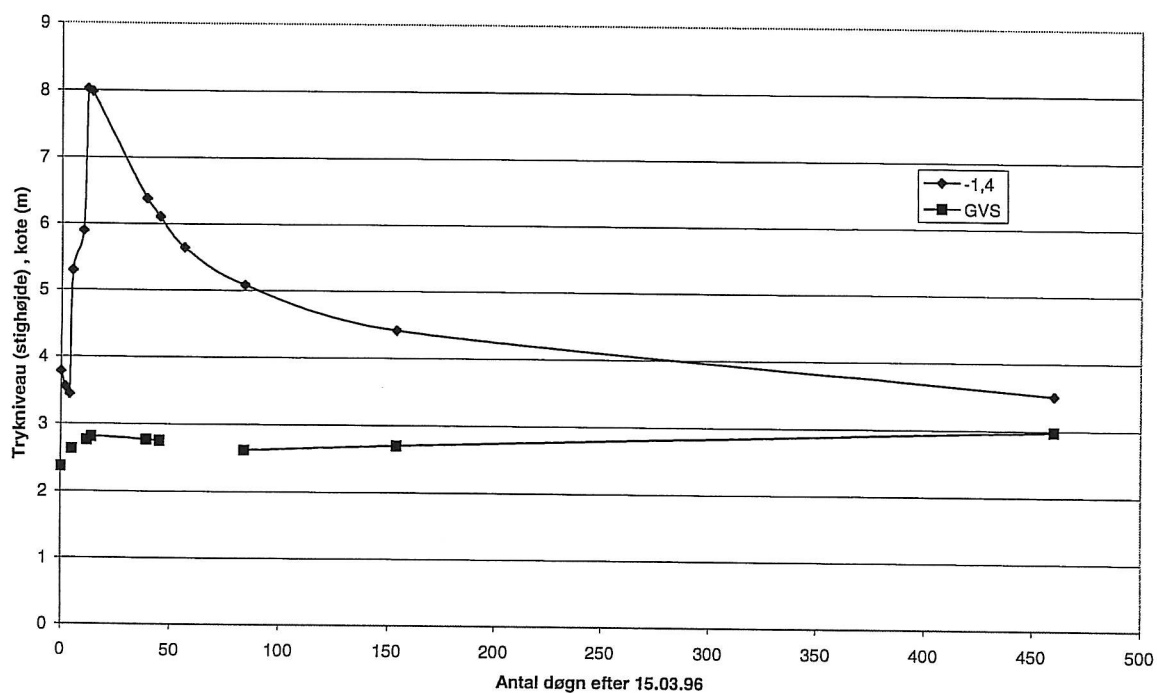
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



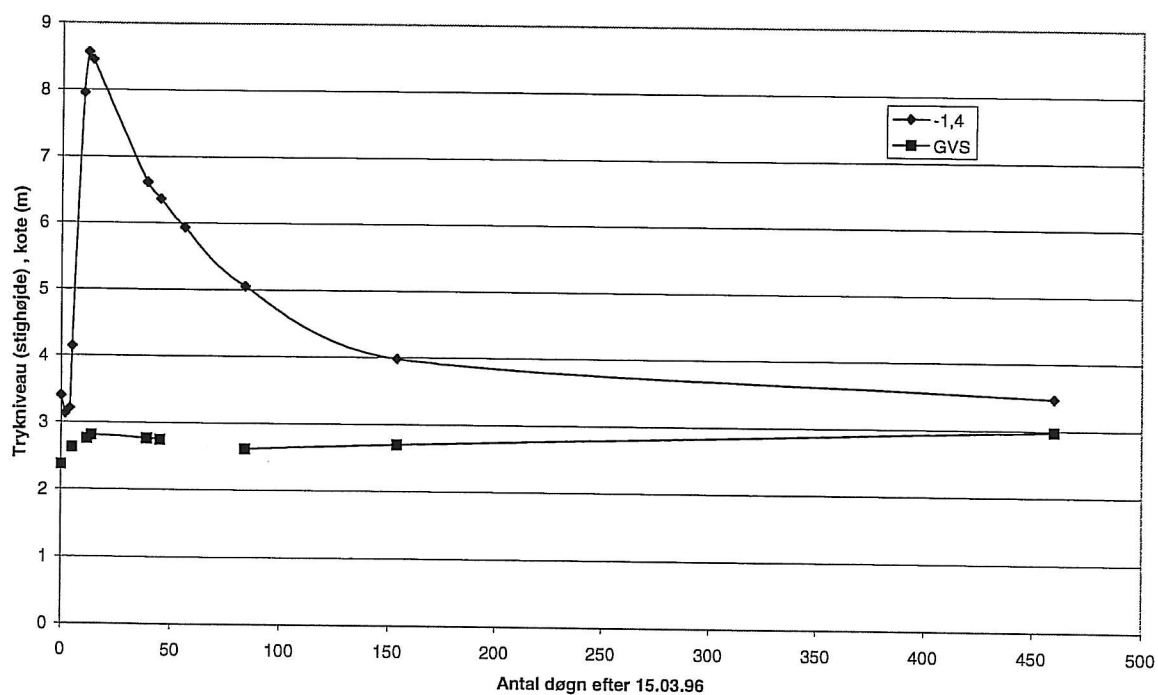
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



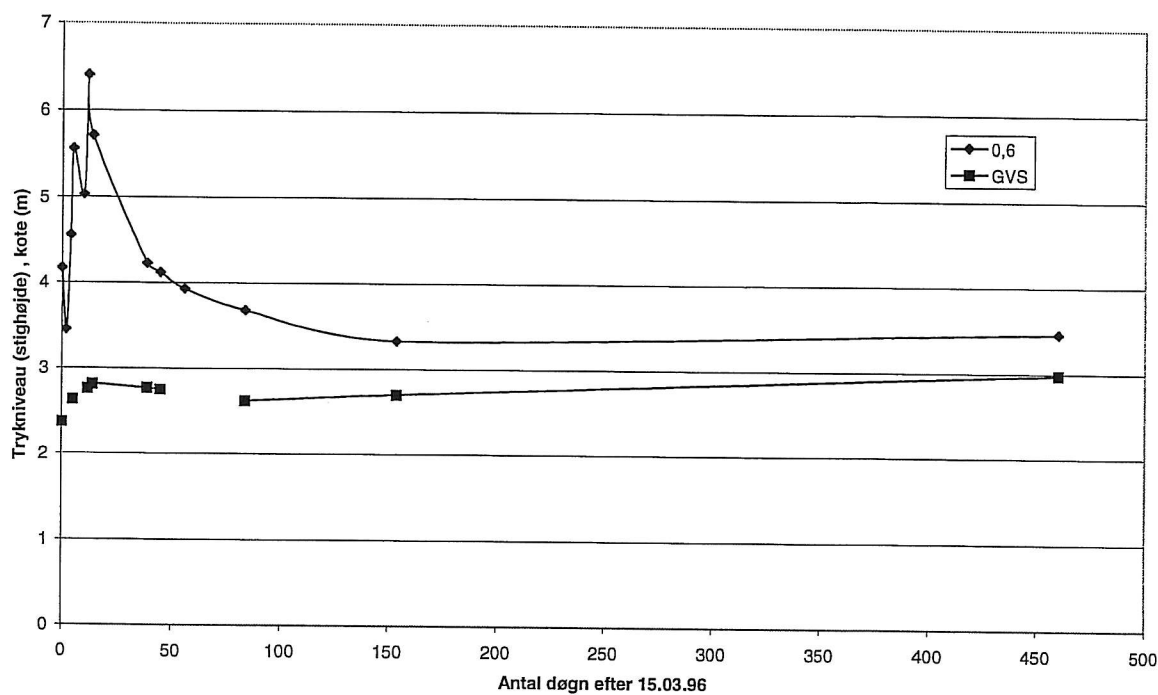
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



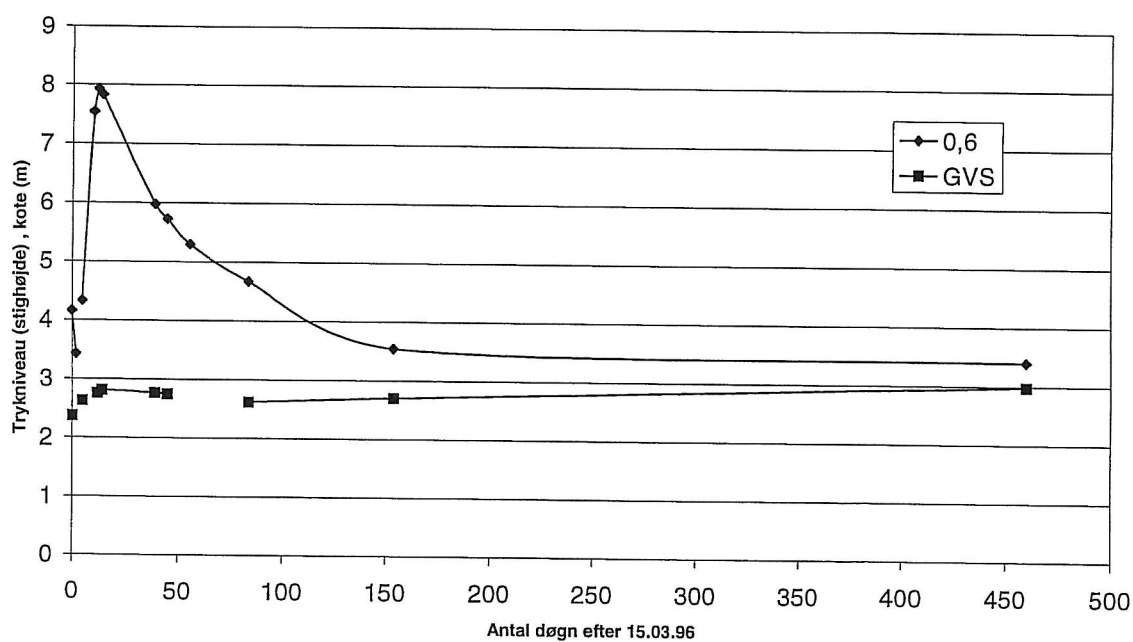
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



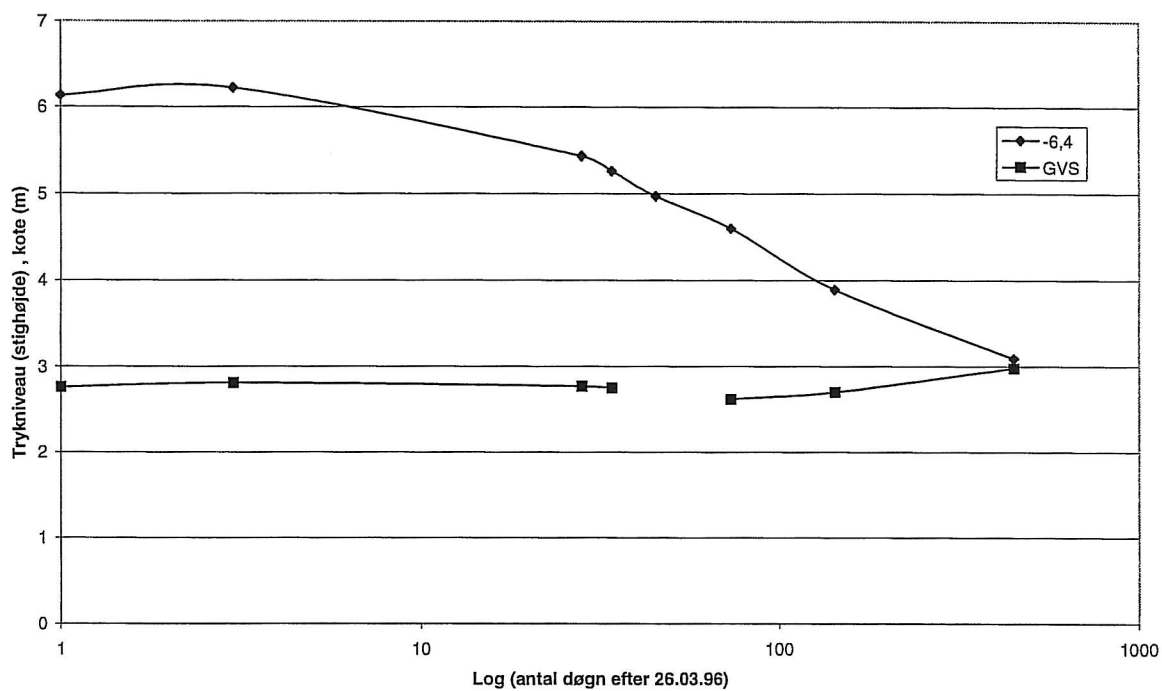
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote + 0.6



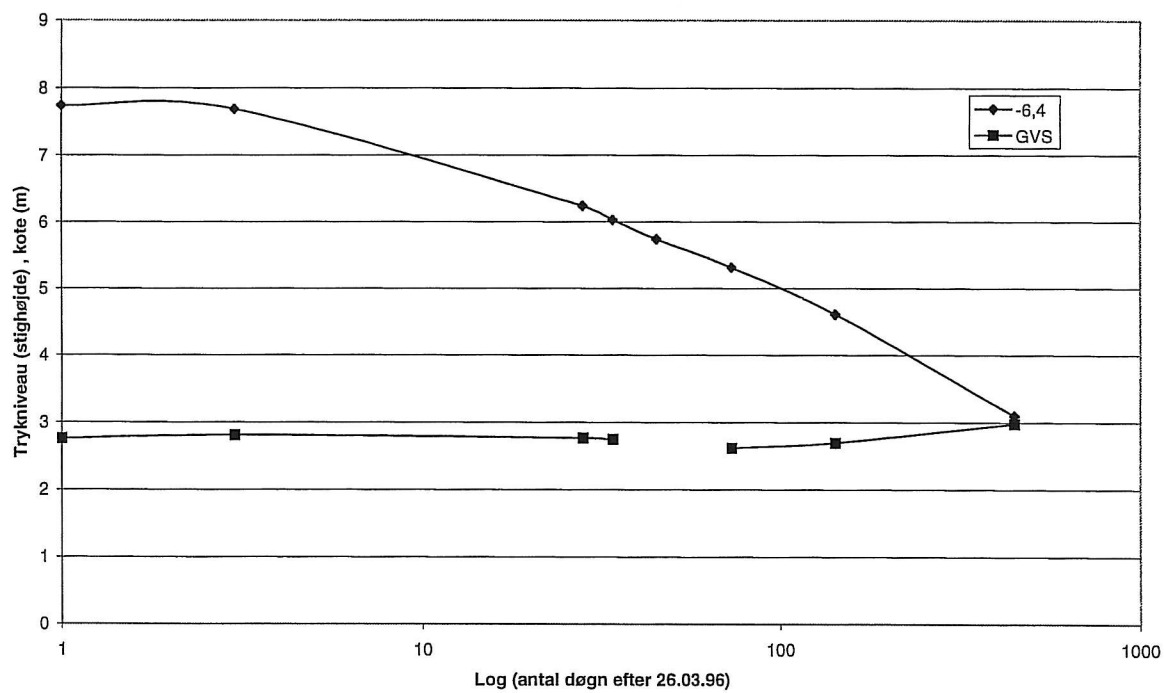
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote + 0.6



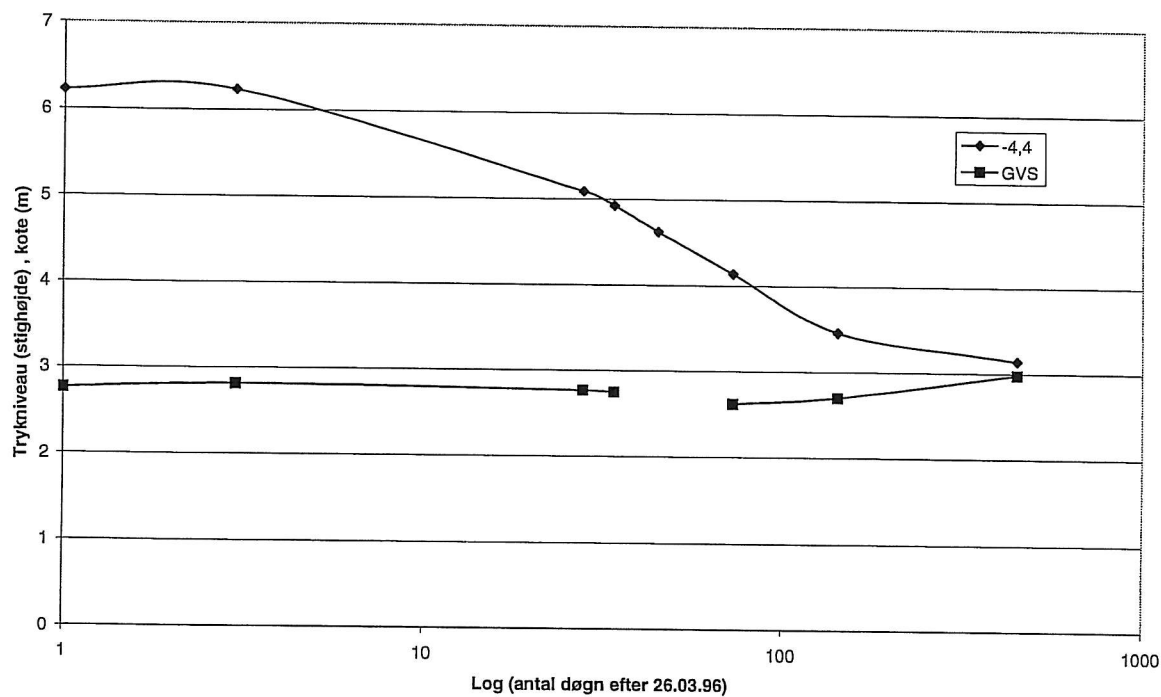
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 6.4



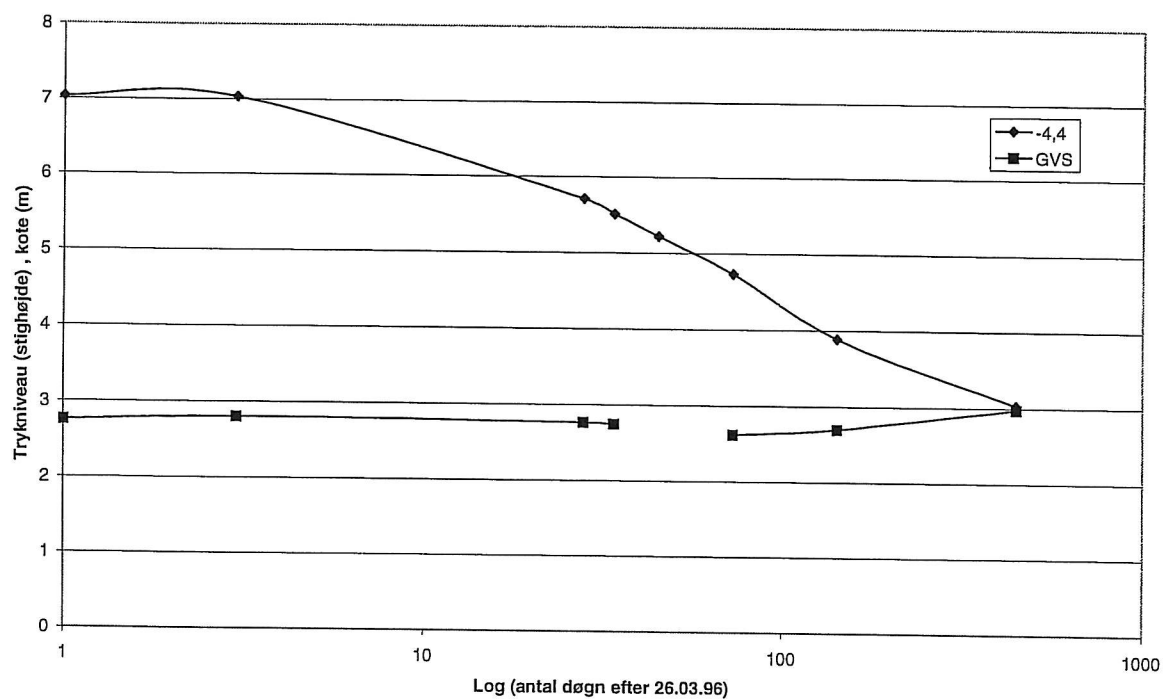
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 6.4



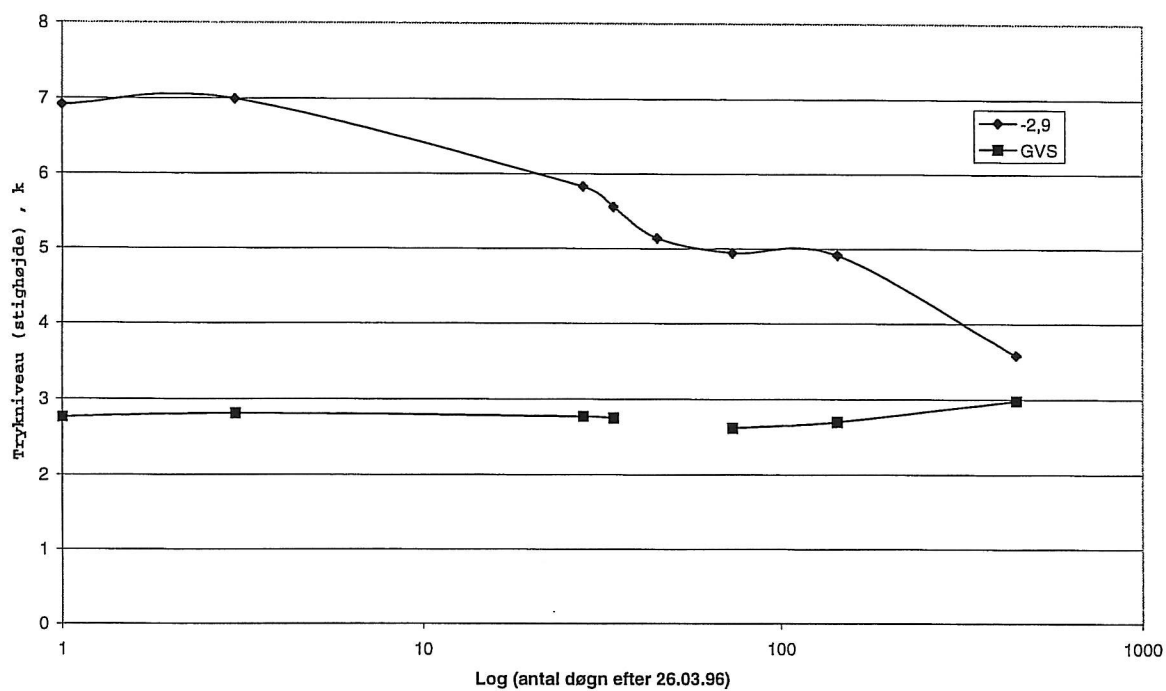
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 4,4



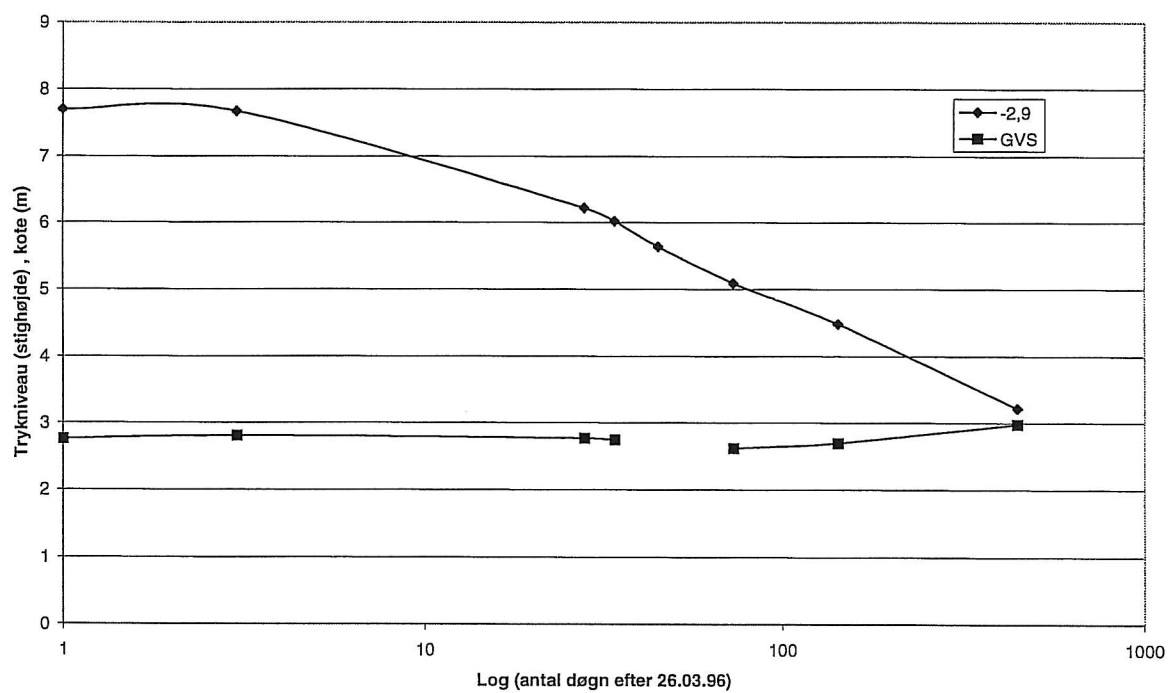
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 4,4



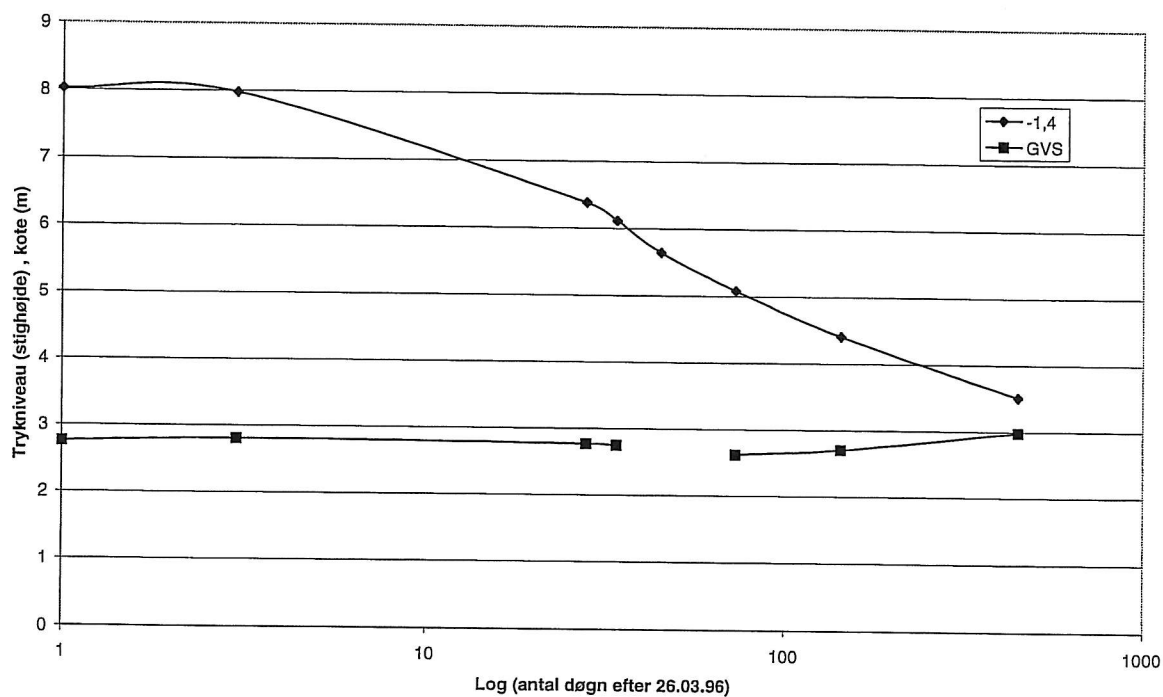
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



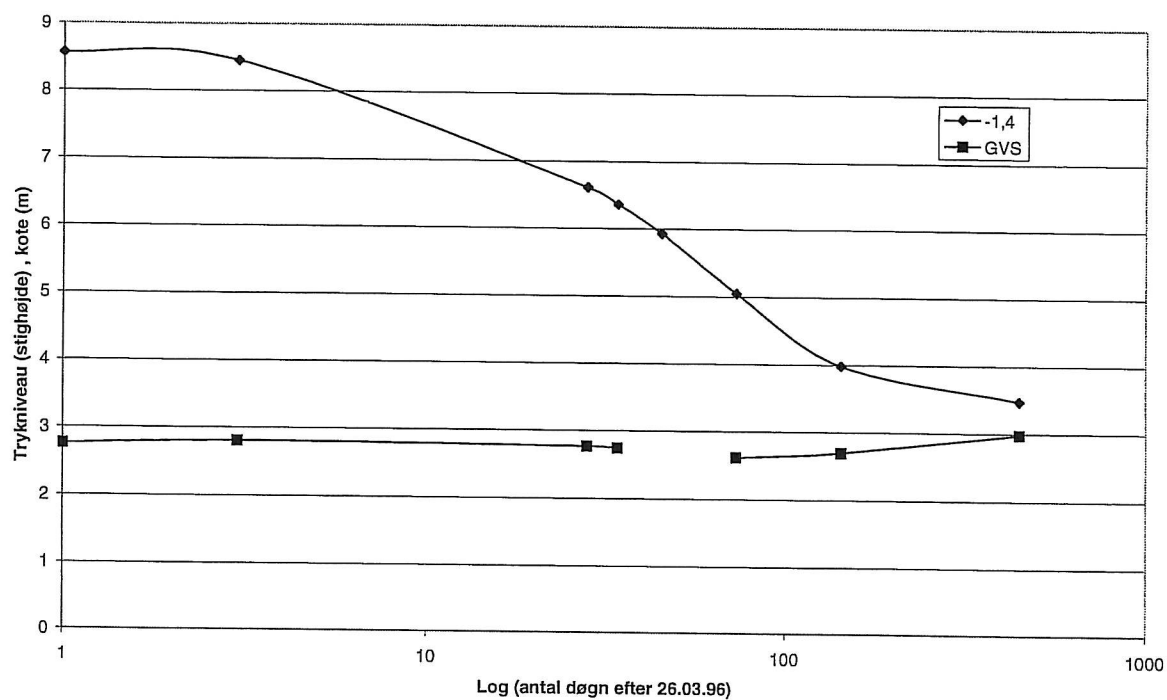
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



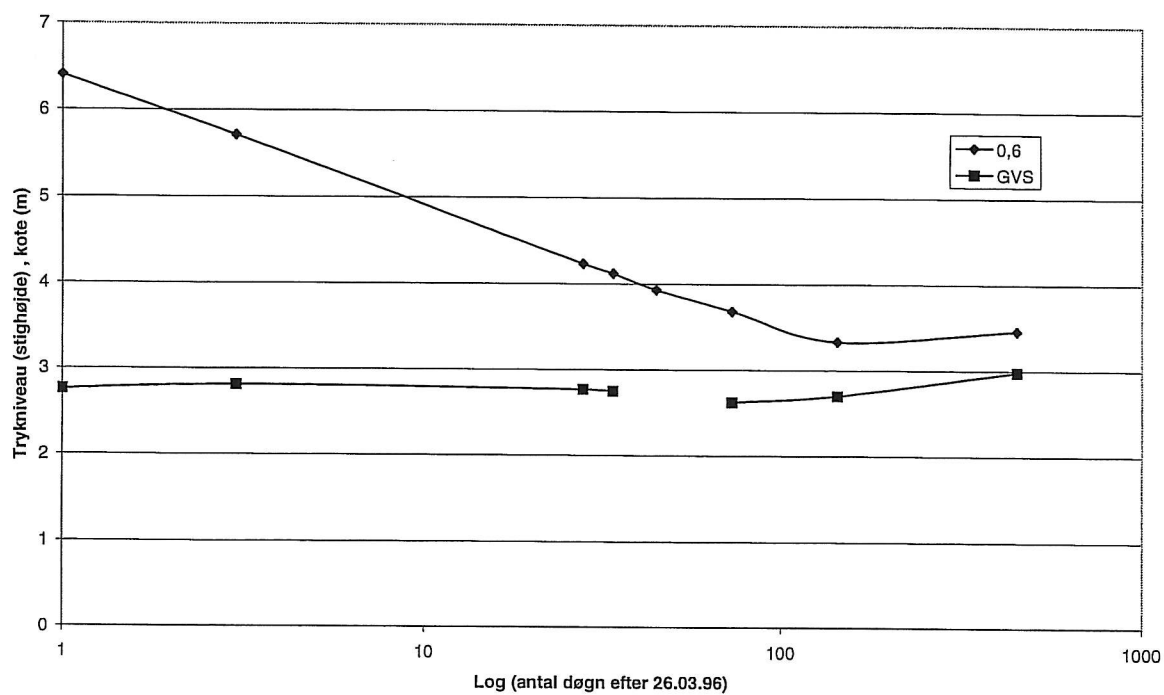
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



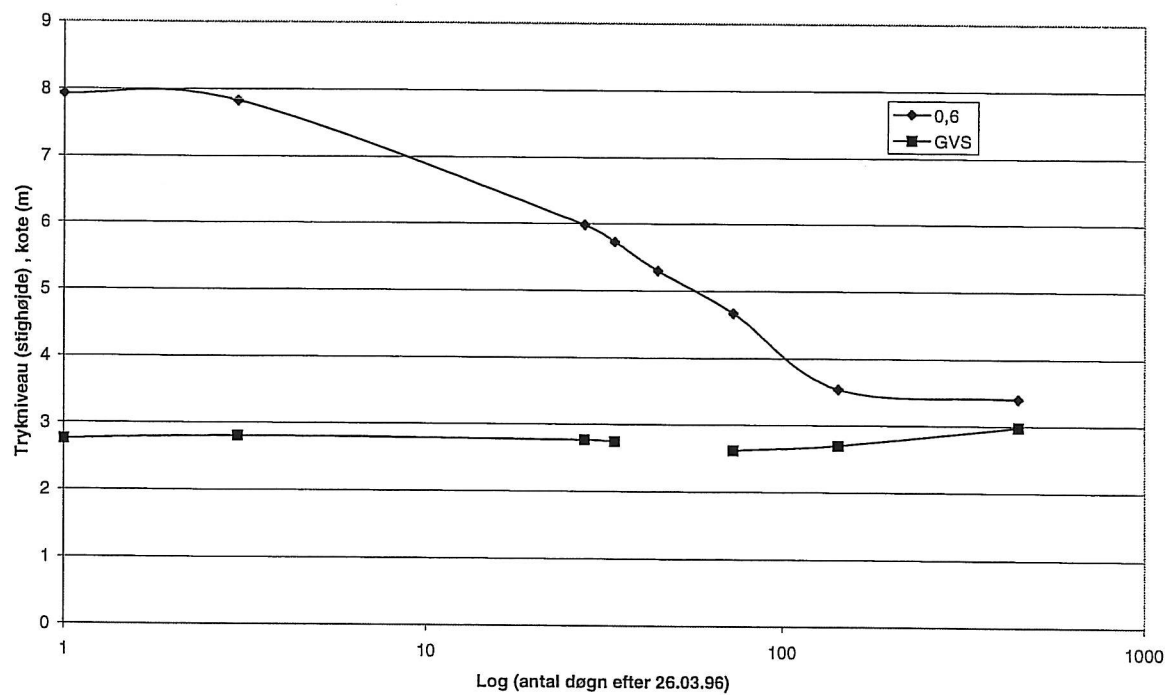
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote + 0.6

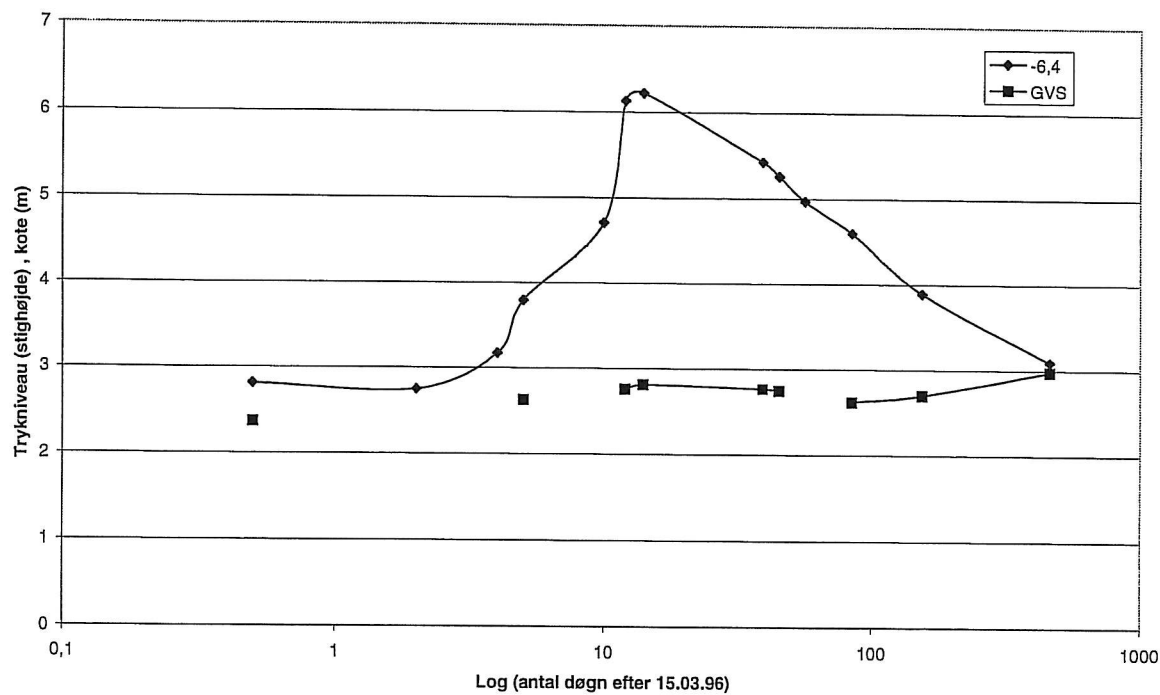


ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote + 0.6

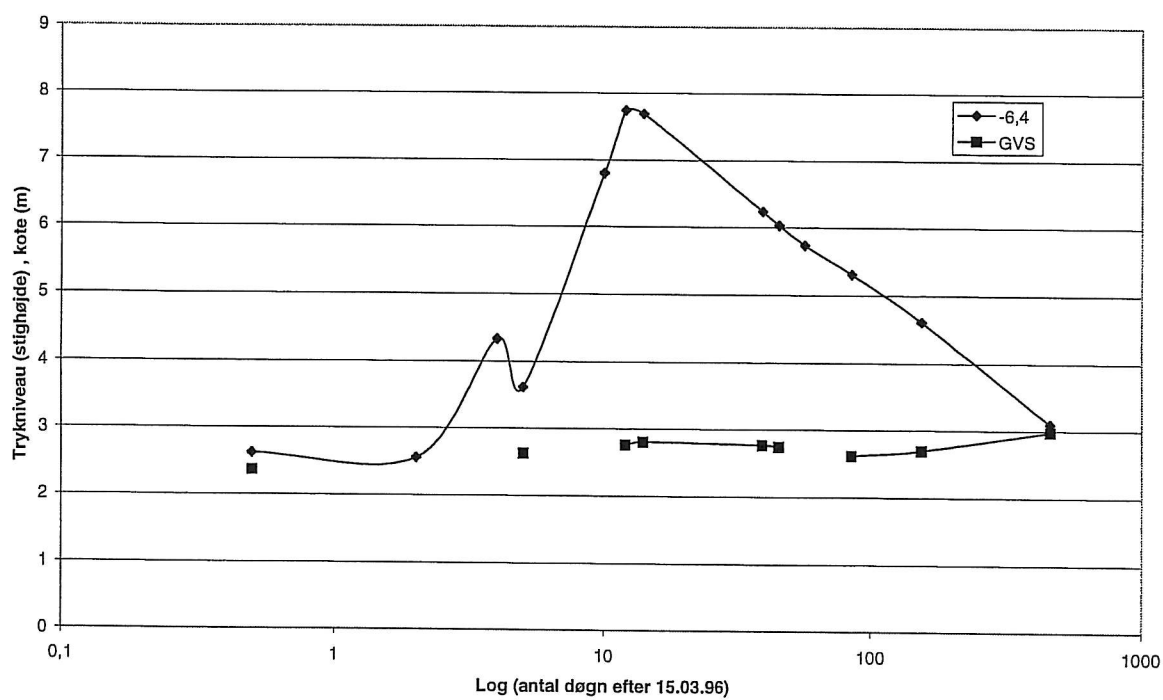




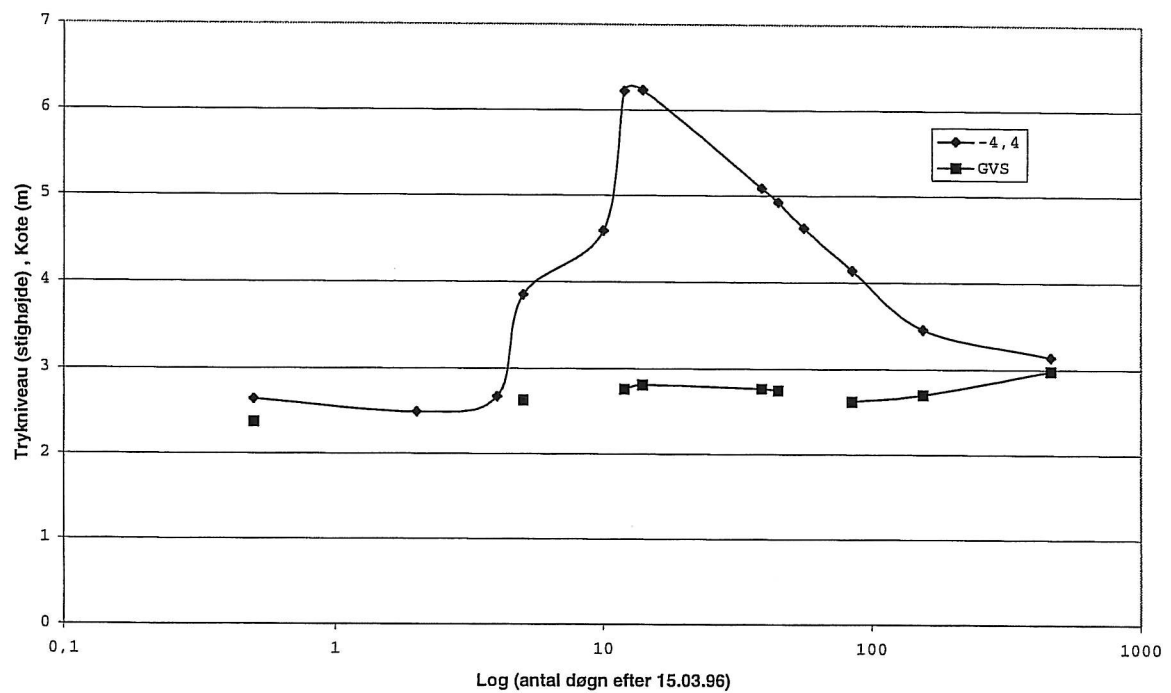
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 6.4



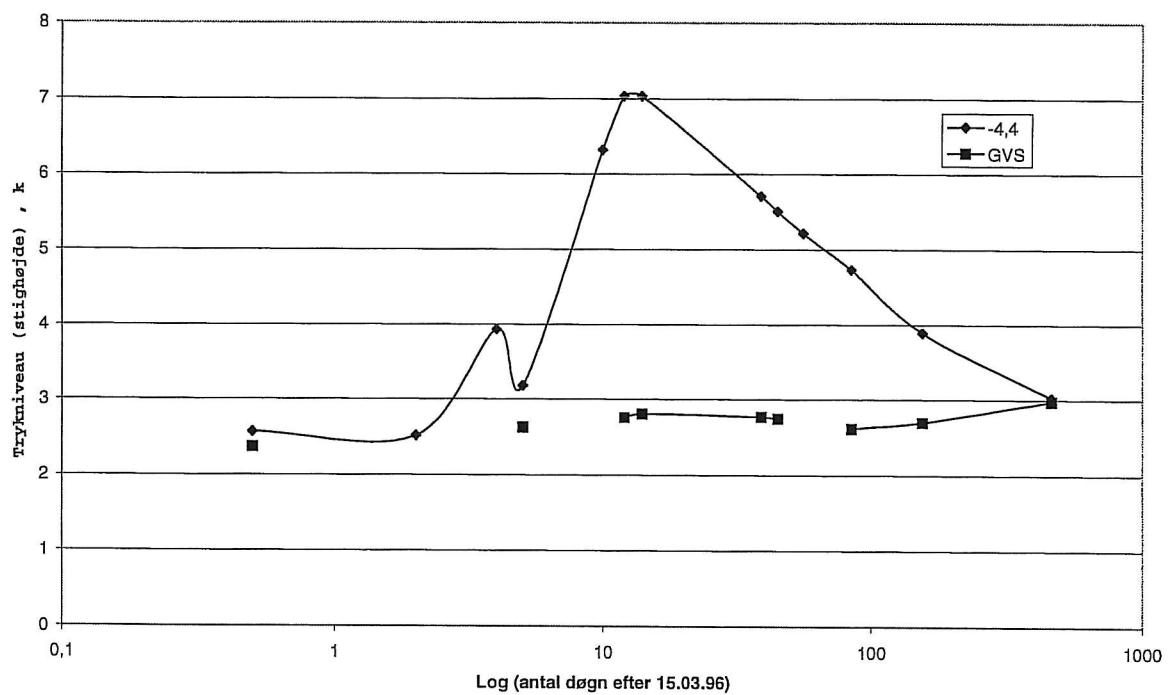
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 6.4



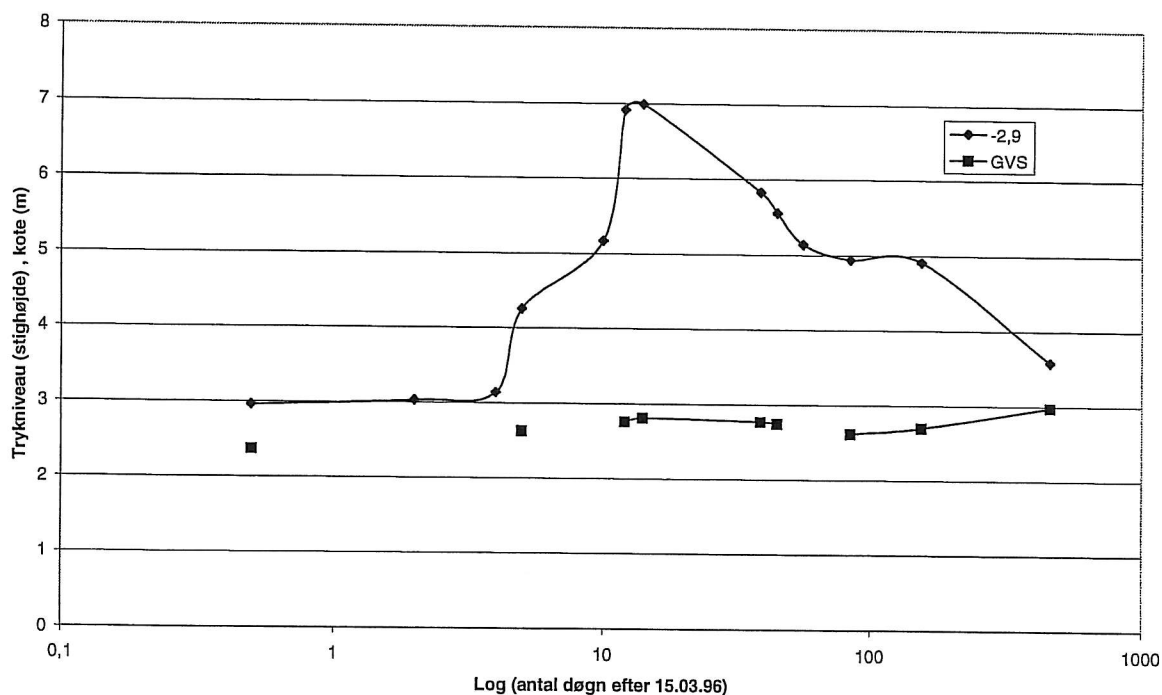
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 4.4



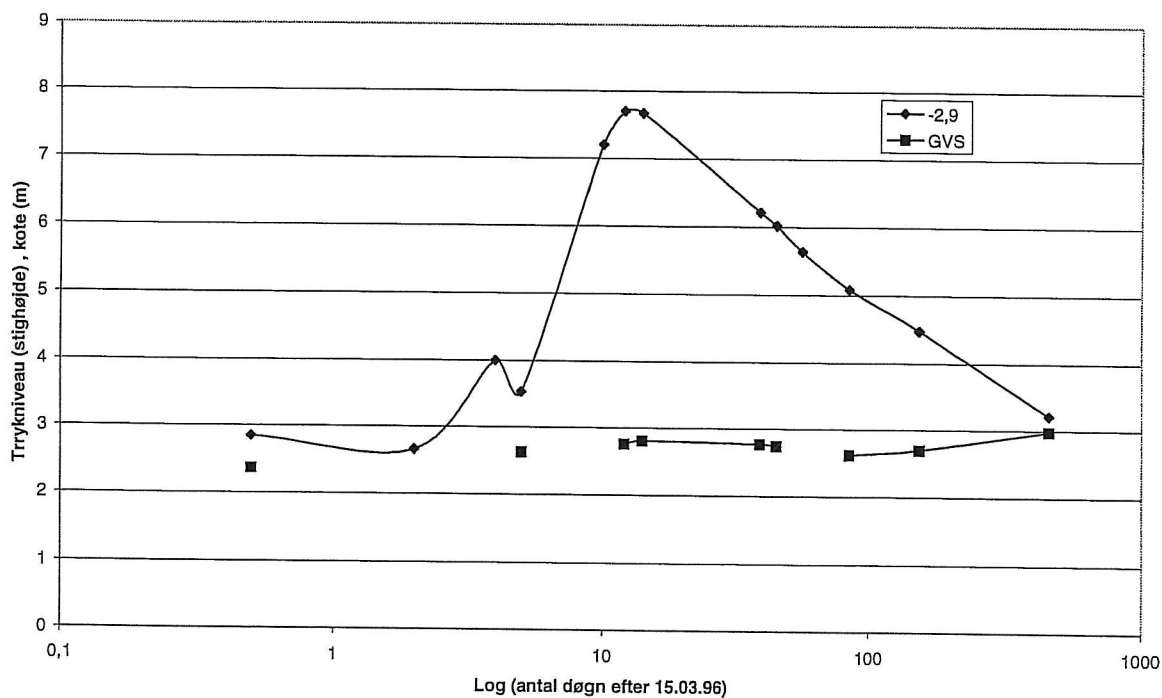
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote -4.4



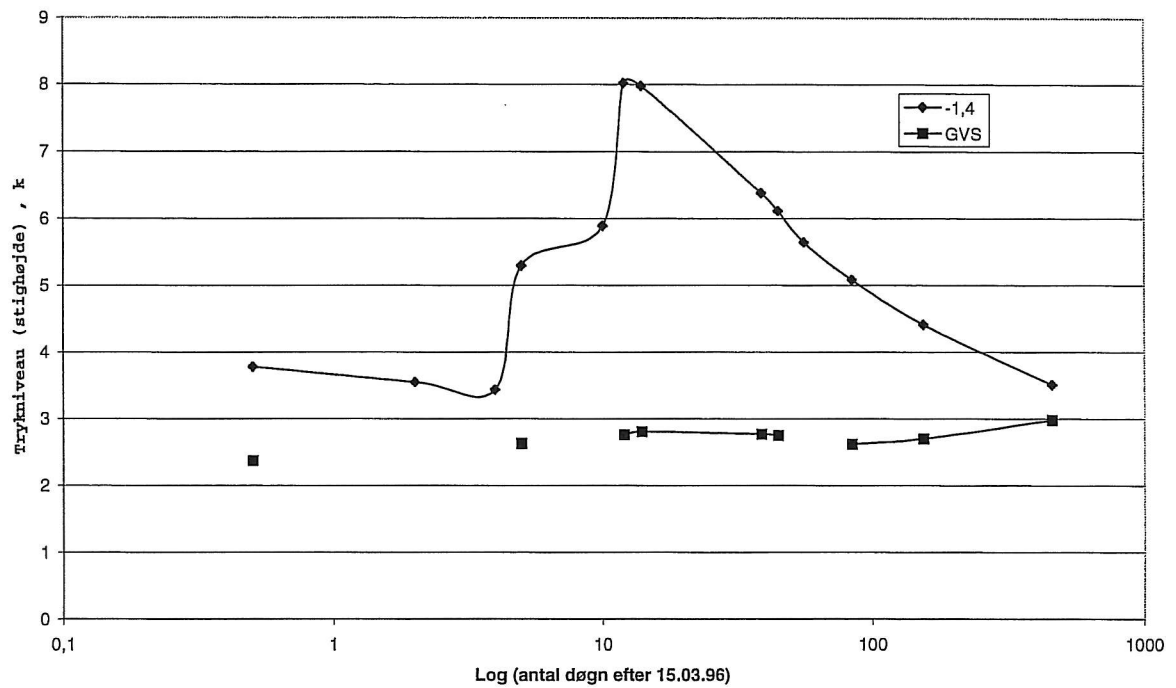
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



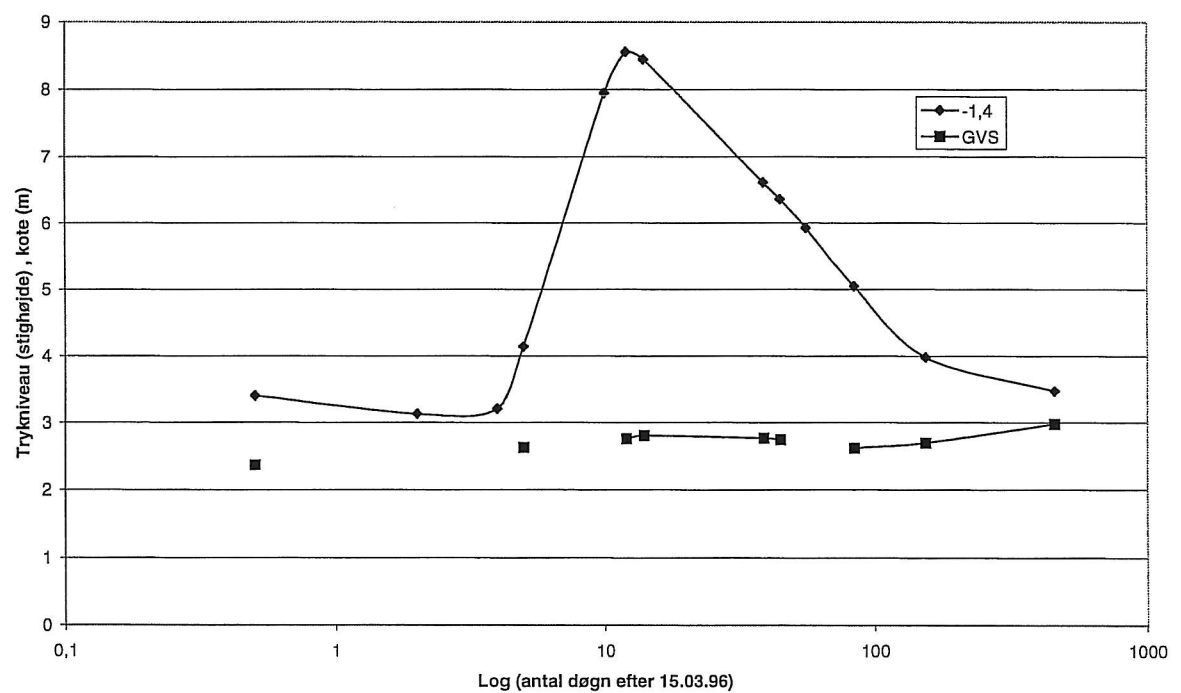
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote - 2.9



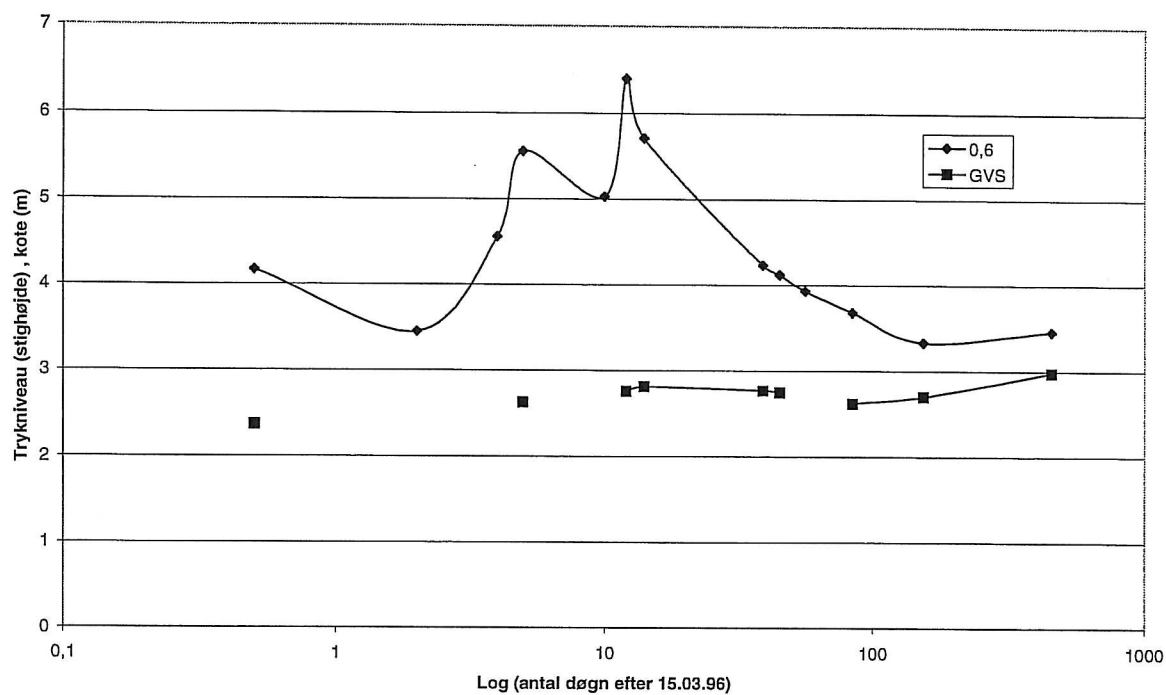
ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote - 1.4



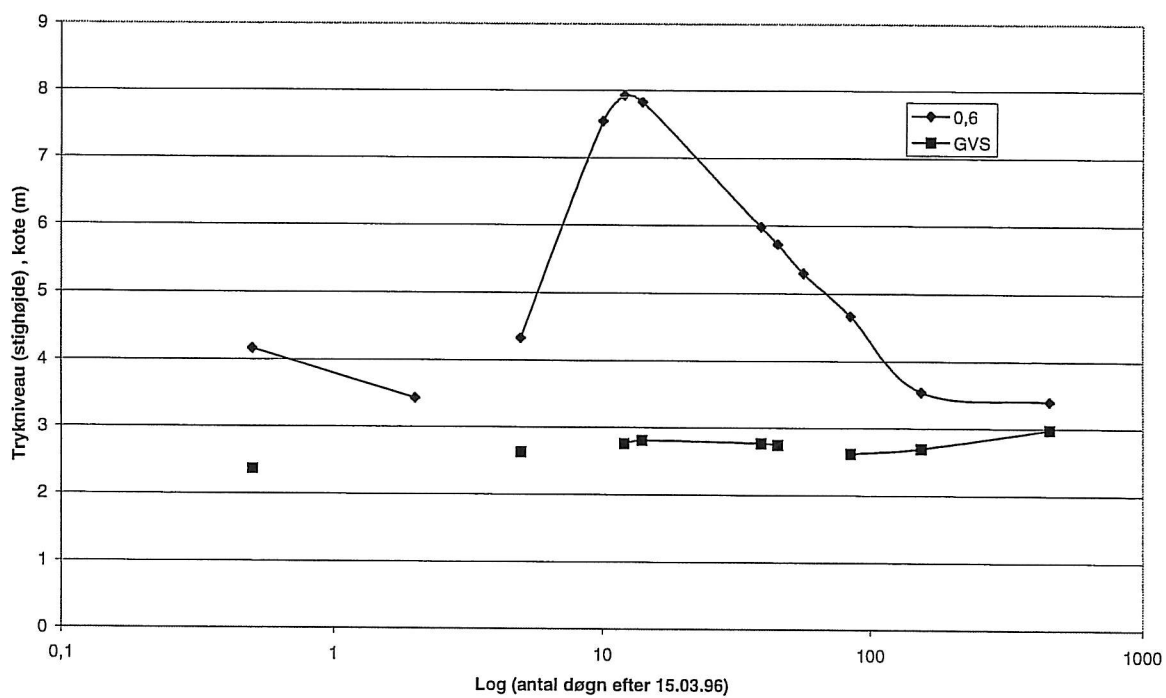
ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote -1.4



ST. 5.265 , Piezometer anbragt i kote + 0.6



ST. 5.280 , Piezometer anbragt i kote + 0.6





**Appendix A:**

**Måling af poretryk med piezometre.**

**(4 sider)**

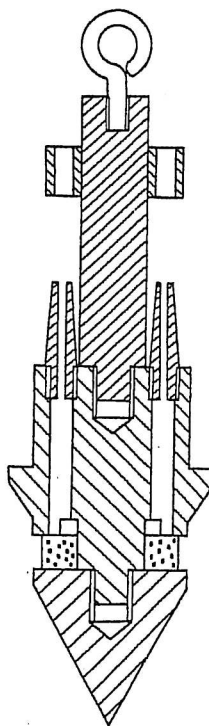
## APPENDIX

## MÅLING AF PORETRYK MED PIEZOMETRE

*Piezometret*

Piezometer systemet består af et følerpiezometer, som placeres nede i jorden i det ønskede niveau, og et manometer, der normalt er et kviksølvmanometer. Systemet er så simpelt som muligt, hvorved det bliver let at arbejde med.

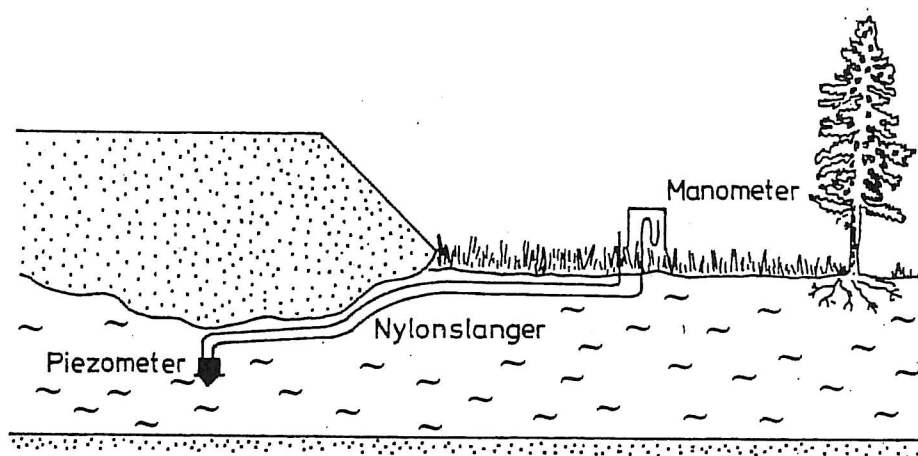
Piezometret er vist på figur A. Det er 10 cm langt og måler på en strækning af 0,5 cm. Det er forsynet med en spids, således at det kan presses ned i jorden. Ved installering er det forsynet med to nylonlanger og en stålwire, der muliggør genanvendelse. Princippet har flere fordele. Målested kan placeres uafhængig af piezometrets placering. Det har fx betydning ved poretryksmålinger under vejdæmnings (figur B). Målin-

*Figur A.*



## APPENDIX

## MÅLING AF PORETRYK MED PIEZOMETRE



Figur B.

gerne kan foregå i frostvejr, hvis vandet i målesystem udskiftes med en anden væske, der ikke kan fryse i normalt frostvejr. Målesystemet kan kontrolleres for luft. Den største fordel er dog nok, at de vandmængder, der skal til for at registrere trykændringer er meget små.

En strain gauges føler vil registrere bedre, hvis den virker. Men det er svært at kontrollere, og den er meget dyrere.

*Installering*

Piezometeret kan trykkes ned ved hjælp af et 1" vandrør. Det kan dog være nødvendigt at forbore for ikke at ødelægge piezometeret. Ved nedpresningen føres slanger og stålwire op gennem vandrøret og ud gennem et T-stykke, der er monteret på øverste ende.

Ved montering i ler eller gytje forsynes vandrøret med en bentonit-prop, der er tillavet umiddelbart før brugen. Ved nedskylning af vand eller bentonitslam gennem røret under optrækningen sikres, at piezometret bliver siddende i jorden, og at der tættes over piezometret, således at det ikke får forbindelse med andre jordlag.

Ved montering i sand kan det være nødvendig at placere en stålskive mellem piezometer og stålør for at forsyne piezometret med en slags modhage. Borehullet må lukkes med bentonit bagefter.

## APPENDIX

## MÅLING AF PORETRYK MED PIEZOMETRE

*Montage af manometer*

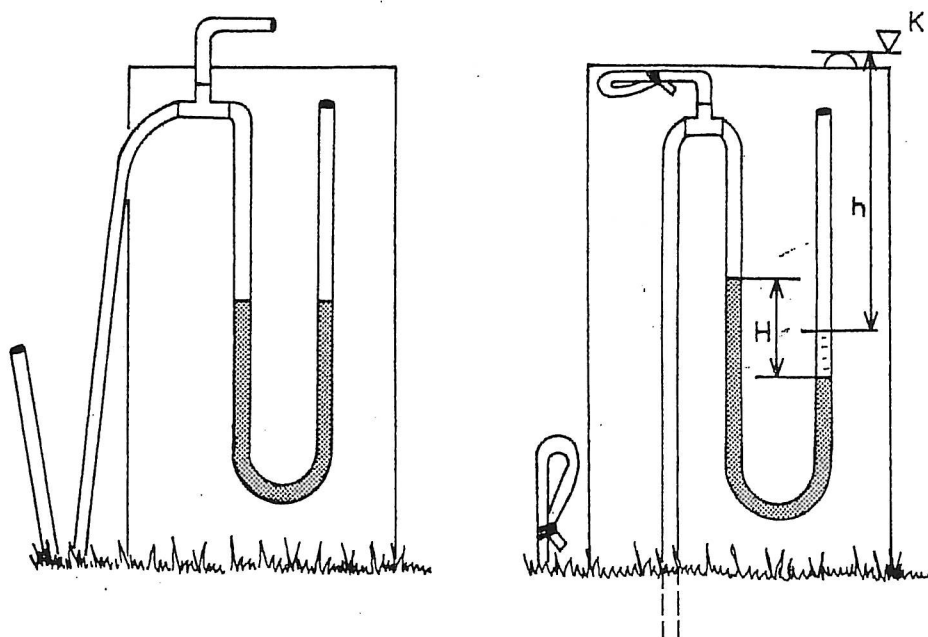
Kviksølvmanometret består blot af en slange, der er bøjet og fyldt med kviksølv. De to grene skal helst have en afstand der svarer til en tomme-stoks bredde. En tomme stok kan da anvendes til aflæsning.

Er piezometret placeret i sand, suges vandet op gennem t-stykket på manometret. Er det vanskeligt kan samtidig med nedskylning i den frie slange muligvis hjælpe. Det er væsentligt at sikre sig at luften fjernes fra systemet. Den løse slange ved t-stykket lukkes.

Er piezometret anbragt i ler, skylles vand igennem den frie slange og ud gennem t-stykket. Gennemskylningen vedbliver indtil det sidste luft er kommet ud af systemet. Herefter lukkes såvel den løse slange ved t-stykket som den frie slange.

*Målinger*

Manometerbrædtets overside må først indnivelleres, således at koten K hertil kendes. Herefter måles den lodrette afstand  $h$  fra oversiden til den frie vædskeoverflade, der består af vand eller kviksølv. Endelig måles den lodrette afstand  $H$  mellem de to kviksølvoverflader (figur C).



Figur C.

## APPENDIX

## MÅLING AF PORETRYK MED PIEZOMETRE

Trykniveaukoten  $h_t$  bestemmes herefter af

$$h_t = K - h - H \left( \frac{\gamma_{HG} - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \sim K - h - 12,6 \cdot H$$

Såfremt der står luft tilbage i målesystemet vil optræde en ensidig fejl.  $h_t$  vil bestemmes for høj. Det er derfor bedst at have placeret så mange piezometre, at fejl kan erkendes og rettes.